

# Les sols de l'Amazonie équatorienne

## Situation, nature, perspectives d'exploitation

Michel SOURDAT

ORSTOM, 70 route d'Aulnay, 93140 Bondy

### RÉSUMÉ

*L'Amazonie équatorienne correspond à un sous-vecteur périphérique du bassin amazonien, adossé au segment le plus volcanique des Andes, à cheval sur la ligne équinoxiale. De 6000 à 200 m d'altitude, une vingtaine de paysages ont pu être différenciés et cartographiés. Dix catégories de couvertures pédologiques leur sont associées.*

*Pour chacune d'elle, l'auteur précise les traits, le comportement et les potentialités en termes morphologiques, minéralogiques, physico-chimiques ou agronomiques et propose une approche taxonomique. La comparaison de ces couvertures est facilitée par la figuration schématique et synthétique de quelques paramètres caractéristiques de leur nature et de leur fertilité.*

*En conclusion, l'auteur rappelle les antécédents taxonomiques et cartographiques relatifs à cette région, commente les grandes orientations de sa pédogenèse, les dégâts causés par la pastoralisation des paysages et l'inventaire des ressources en sols. Celles-ci ne devraient être exploitées que partiellement et sélectivement, au prix d'une intensification de leur productivité et non plus de façon extensive par l'extension indéfinie des surfaces défrichées.*

MOTS-CLÉS : Amazonie — Paysages — Sols ferrallitiques — Andosols — Fertilité — Déforestation.

### ABSTRACT

#### SOILS IN ECUADORIAN AMAZONIA : THEIR SITUATION, TYPE AND POTENTIAL USE

*The Ecuadorian Amazonia corresponds to a peripheral subarea of the Amazonian basin which stands against the most volcanic field of the Andes astride the equatorial line. From an altitude of 200 to 6000 m, about twenty landscapes could be differentiated and mapped. Ten types of soil mantles are associated to them.*

*For each of them, the author describes the morphological, mineralogical, physico-chemical or agronomic characteristics and potentialities and he suggests to make a taxonomic approach. The schematic and synthetic representation of a few parameters characteristic of their type and fertility makes it easy to compare these mantles.*

*In short, the author recalls the available taxonomic and cartographic information concerning this region, discusses the aspects of its pedogenesis, the damage caused by the pastoralization of the landscapes and the soil survey. The soils should be exploited only partly and selectively by increasing their yield capacity and they no longer should be exploited in an extensive way by increasing indefinitely the cleared areas.*

KEY WORDS : Amazonia — Landscapes — Ferrallitic soils — Andosols — Fertility — Deforestation.

## RESUMEN

## LOS SUELOS EN LA REGIÓN AMAZÓNICA ECUATORIANA : SU SITUACIÓN TIPO Y UTILIZACIÓN POTENCIAL

*La Región Amazónica Ecuatoriana es un sub-sector periférico de la cuenca amazónica, apoyado en el segmento más volcánico de los Andes, a los dos lados de la línea equinoccial. Entre 6.000 m y 200 m s.n.m., se han identificado y mapeado unas veinte unidades de paisajes a los cuales han sido asociado diez categorías de suelos.*

*Para cada una de ellas el autor precisa sus características morfológicas, mineralógicas, físico-químicas, sus potencialidades agronómicas y propone una aproximación taxonómica.*

*Una evaluación comparativa de la naturaleza y de la fertilidad de las mismas resulta más fácil por la figuración esquemática y sintética de unos parámetros característicos.*

*En conclusión, el autor comenta los antecedentes taxonómicos y cartográficos relacionados con esa región, los desgates causados a los suelos por pastoralización, un panorama pedogenético y un inventario de los recursos en suelos. Éstos no habrían de explotarse sino parcialmente y selectivamente, intensificando su productividad y no ya extendiendo incontroladamente las superficies roturadas.*

TERMINOS CLAVES : Amazonia — Paisajes — Suelos ferralíticos — Andosoles — Fertilidad — Roturación.

## INTRODUCTION

Naguère, le territoire amazonien de la République de l'Equateur était en majeure partie « vierge » ou réputé tel. Les indigènes n'occupaient, ou parcouraient, que quelques zones sans contours définis ; leurs systèmes agricoles n'en modifiaient pas sensiblement les paysages. Les colons (1) n'avaient occupé que les seuils de cette vaste région et les alentours de quelques postes avancés, militaires ou missionnaires.

C'est au cours des années 70, suite aux succès des prospections pétrolières, que la colonisation est entrée dans une phase d'extension systématique avec l'appui de l'Etat ; or, la mentalité et la technicité des colons les portent à transformer les milieux qu'ils exploitent.

Il est alors apparu que, pour maîtriser ces transformations, les documents les plus nécessaires faisaient défaut. En ce qui concerne l'espace et ses structures, il n'en existait pas d'autres représentations que la carte topographique et la carte géologique (2) au 1/1 000 000 dont les premières éditions comportaient beaucoup d'approximations. Pour les milieux naturels, aucune description systématique n'était encore disponible.

C'est dans cette conjoncture que, à partir de 1976, le PRONAREG (3) et l'ORSTOM ont étendu à la région amazonienne l'inventaire des « ressources naturelles renouvelables » qu'ils avaient entrepris conjointement, dès 1974 dans le cadre des accords MAG (4)-ORSTOM, dans les autres régions continentales du pays.

A l'époque, l'accès du territoire amazonien était encore assez malaisé et les moyens impartis très restreints. On ne pouvait envisager la réalisation d'une collection de documents thématiques détaillés. L'effort fut donc porté sur une reconnaissance des paysages et des sols à partir d'une photo-interprétation systématique (10 000 photos), contrôlée par des prospections d'itinéraires.

La recherche ayant pris un gros retard sur la colonisation, il importait d'opérer vite et de diffuser l'information sitôt acquise, fût-elle sommaire. Dans cet esprit, des cartes et des commentaires ont été proposés aux utilisateurs dès 1977 et jusqu'en 1983 : divers par l'échelle, le degré d'élaboration et la qualité de la présentation. Cet article en propose une brève synthèse.

## L'AMAZONIE EQUATORIENNE

## Définition

Le territoire qu'il nous a été donné d'étudier correspond aux 4 provinces orientales de la République de l'Equateur, limitées grosso modo par la cordillère orientale des Andes et drainées par le réseau amazonien. Il couvre 130 000 km<sup>2</sup> environ, soit 46 % du territoire national.

L'Amazonie équatorienne s'inscrit dans une région naturelle : le sous-secteur périphérique du bassin amazonien le plus immédiatement voisin de la ligne équi-

(1) Nationaux émigrés d'autres régions.

(2) De l'Instituto Geografico Militar (IGM) et du Servicio Nacional de Geologia y Minas (SNGM) respectivement.

(3) Programa Nacional de Regionalización Agraria (MAG).

(4) Ministerio de Agricultura y Ganaderia.

noxielle, adossé au segment le plus intensément volcanique des Andes. Des glaciers aux marécages, on y observe des paysages très divers mais logiquement organisés comme l'indique le tableau I.

Nos travaux ayant procédé d'une photo-interprétation, ce sont les paysages qui ont été cartographiés et c'est par leur intermédiaire qu'une localisation des sols sera présentée.

### Le climat actuel

La plus grande partie de cette région (la partie basse) est soumise actuellement à un climat tropical humide non-contrasté (température moyenne quotidienne proche de 25°C ; précipitations de 2000 à 4000 mm : humidité relative supérieure à 85 %). Lorsqu'on s'élève le long du versant andin, les températures décroissent (13°C à 2500 m ; 6°C à 3800 m) tandis que les précipitations se renforcent (plus de 6000 mm vers 1500 m) puis décroissent (1500 mm vers 3000 m).

Ce régime est un peu plus contrasté lorsqu'on s'éloigne de l'équateur vers le sud : 1350 mm dont 6 mois à moins de 85 mm à Zumba (1500 m d'altitude, 05° de lat. S, dans le bassin du Chinchipe).

### Les climats antérieurs

Il est admis que l'état actuel de l'Amazonie n'est pas harmonisé aux conditions climato-eustatiques contemporaines dont l'agressivité morphodynamique est faible. Quelques traits morpho-pédologiques ne se comprennent que par référence à l'agressivité violente des conditions antérieures, marquées notamment par l'influence de climats plus froids, plus secs et surtout plus contrastés, conjuguée avec celle d'un niveau marin très inférieur.

De telles conditions ont prévalu à plusieurs reprises durant le Pleistocène et n'ont disparu qu'au seuil de l'Holocène, par paliers et non sans recurrences. Le virage de la tendance géodynamique a dû coïncider avec la fin du Würm et le début de la transgression flandrienne, soit entre 15 000 et 12 000 ans. Toute interprétation morpho-pédo-écologique des paysages actuels doit tenir compte de ces changements. Il faut toujours se rappeler que l'Amazonie n'est ce qu'elle est aujourd'hui que depuis quelques millénaires, et temporairement peut-être (TRICART, 1974, 1975, 1978 — ALMEIDA y SOURDAT, 1983).

Il ne faut pas oublier non plus qu'en Equateur, d'énormes débâcles glaciaires ont pu être provoquées par le volcanisme en dehors de tout réchauffement de l'atmosphère et d'une chronologie glacio-eustatique.

### Végétation naturelle et cultures

Au-dessous de l'étage des *paramos* (équivalents andins des alpages), c'est la forêt tropicale dense qui couvrait

originellement cette région, avec de nombreuses variantes, adaptées notamment à l'altitude et au manque de sol (fourrés) ou de drainage (palmeraies naturelles).

L'agriculture indigène traditionnelle ne dégradait pas la forêt. L'agriculture pionnière coloniale par contre progresse par fronts et lui substitue drastiquement divers agrosystèmes ; dans les meilleurs cas, des systèmes polyculturels stratifiés ; plus souvent, des monocultures. La culture sur abattis n'est souvent qu'une étape transitoire vers l'instauration de pâturages qui se détériorent dès qu'ils sont piétinés et sur lesquels, après épuisement du sol et abandon, la forêt ne revient plus que sous des formes très dégradées.

### Les paysages (fig.1 - tab.I).

Il a été convenu d'étudier l'Amazonie équatorienne dans ses limites administratives qui incluent les versants et crêtes des Andes. Si l'on s'en tient à l'image habituelle d'une Amazonie de basse altitude, plane et chaude, l'assimilation de son rebord montagneux, escarpé et froid, peut surprendre. Le langage courant et divers textes (Atlas, 1982 — BALDOCK, 1982) distinguent les Andes et la frange subandine du « bassin » amazonien (*cuenca*) ou « cuvette », ou « plaine amazonienne » (*llanura*) ou « Amazonie proprement dite »... Ils proposent des limites altitudinales, morphologiques ou écologiques diverses. Mais ces termes et ces limites sont tous plus ou moins arbitraires et inadéquats. Lorsque nous traiterons des parties basses, nous soulignerons par l'adjectif « periandin » tout ce qu'elles doivent au voisinage des parties hautes qui les commandent.

#### LE VERSANT AMAZONIEN DES ANDES

Les Andes dressent vers l'ouest une barrière sub-méridienne hérissée de volcans et couronnée de glaciers dont les altitudes jamais inférieures à 2700 m peuvent atteindre 5800 m.

Les modèles sont divers et souvent composites selon que prédominent les manifestations anciennes, récentes ou actuelles du volcanisme, de l'érosion glaciaire, ou de l'érosion hydrique, les composantes structurales étant généralement occultées.

Les Andes orientales sont de nature principalement métamorphique (schistes, quartzites et gneiss), surmontées ou flanquées de formation intrusives (granites), sédimentaires (grès, calcaires et pélites) ou éruptives (laves andésitiques et lahars), partiellement recouvertes d'un manteau de cendres. Cinq catégories de paysages prédominent :

*Glaciers et névés.* On les observe à partir de 5000 m sauf exceptions.

*Hauts reliefs volcaniques.* Ensemble complexe de cônes, coulées, manteaux pyroclastiques et lahars, anciens,

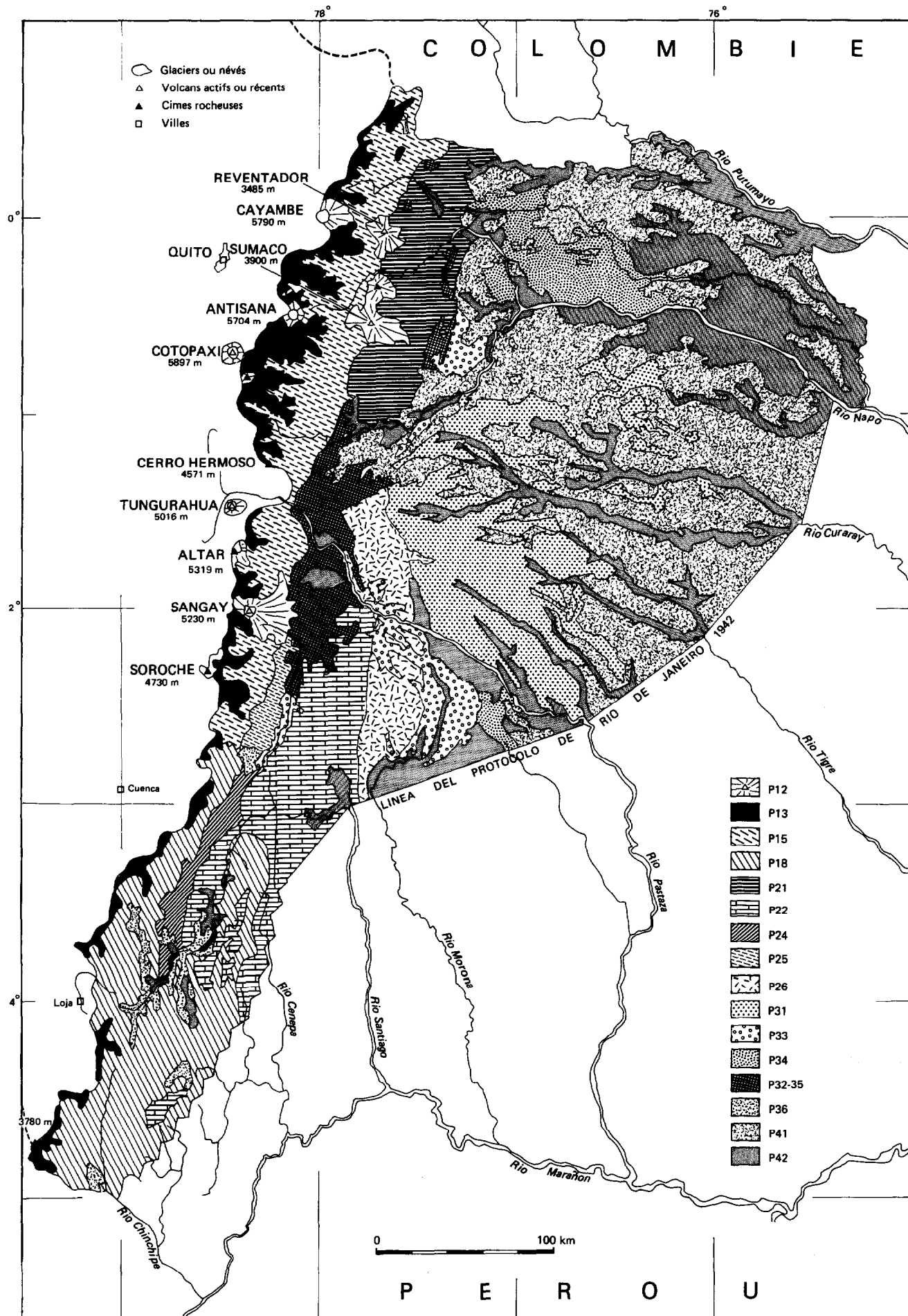


FIG. 1 — Carte schématique des paysages de l'Amazonie équatorienne

TABLEAU I  
Organigramme des paysages de l'Amazonie équatorienne

Unités de la carte morpho-pédologique	Sols prédominants
<i>LE VERSANT AMAZONIEN DES ANDES</i>	
P11. Glaciers et névés	—
P12. Hauts reliefs volcaniques indifférenciés	SO1
P13. Hauts reliefs glaciaires indifférenciés	SO1
P15. Hauts versants sous cendres (nord et centre)	SO4
P18. Hauts versants (sud)	SO8
<i>L'AMAZONIE SUBANDINE</i>	
P21. Reliefs structuraux et karstiques du haut-Napo, sous cendres	SO4
P22. Reliefs indifférenciés du haut-Santiago	SO1 SO8 SO10
P24. Couloir de Limon	SO7
P25. Couloir de Limon sous cendres	SO4
P26. Hautes collines subandines	SO5 SO8
<i>L'AMAZONIE PERIANDINE</i>	
P31. Le vieux piémont central	SO9a
P33. Le second piémont : gradins médians	SO9b
P34. Le second piémont : gradins éloignés	SO9c
P32-35. Les piémonts indifférenciés, sous cendres	SO4
P36. Les piémonts collinaires du sud	SO8
P41. Les collines periandines	SO5
P42. Terrasses, marécages indifférenciés et mauretales	SO3 SO6 SO2

Une notation conventionnelle par chiffres non-successifs a été conservée, proche de celle qui a été présentée à l'occasion d'autres publications.

récents ou actifs ; étagés de 5000 m à 1500 m ; couverts ou non de sols et de végétation ; de formes très tourmentées et accidentées.

*Hauts reliefs glaciaires* : Le recul des glaciers, de 3000 m à 5000 m, a découvert des auges, niches, ombilics, moraines..., encadrés de crêtes rocheuses aiguës, partiellement couverts de cendres, de végétations pionnières ou de *paramos*.

*Les hauts versants sous cendres (nord et centre)* : Au-dessous de 3500 m, la dissection est généralisée. Elle dessine des pentes fortes, plus ou moins régulières selon les roches qu'elle affecte. Toutes sont couvertures de cendres évoluées en sols « beiges » (1) sauf érosion et remaniement.

*Les hauts versants du sud* : Leur dissection est semblable, au-dessous de 3000 m mais les cendres ne les atteignent pas. Les sols y sont de types « jaune/rouge ». Dans l'extrême-sud, une saison moins arrosée permet les brûlis : la forêt y est d'autant plus menacée par l'extension des pâturages.

#### L'AMAZONIE SUBANDINE

Il s'agit de paysages montagneux ou submontagneux qui épaulent le versant andin du nord au sud, entre 2500 et 500 m. Ils correspondent à deux soulèvements anticlinaux dits Napo au nord et Santiago au sud, séparés par un ensellement. Ils sont constitués de sédiments secondaires et tertiaires, marins ou continentaux, très partiellement couverts de cendres.

*Les reliefs structuraux et karstiques du haut-Napo, sous cendres* : Les grès sous-tendent des plans diversement cassés, basculés et disséqués. Les affleurements de calcaires y associent des traits localement karstiques. Les cendres évoluent en sols « beiges ».

*Les reliefs structuraux ou disséqués indifférenciés du haut-Santiago* : Ils sont semblables aux précédents mais sans cendres. Les tables, cuestras et chevrons gréseux y sont plus fortement individualisés. Les intrusions granitiques sous-jacentes montent parfois à l'affleurement. Les sols sont de types peu évolués (rankers), « rouge » ou « jaune/rouge » et podzolsiques.

(1) Le code des couleurs sera justifié ultérieurement.

*Le couloir de Limon* : Il correspond à l'affleurement du groupe Limon des géologues (D.N.G.M., 1982) et notamment de son faciès *flysch*, disséqué et instable, évolué en sols « jaunes », là du moins où il n'est pas recouvert de cendres.

*Les hautes collines subandines* : Il s'agit de paysages composites, plus ou moins structurés ou disséqués, liés à l'anticlinal Santiago. Les sols (non reconnus) sont présumés « rouges » ou « jaunes/rouges ».

#### L'AMAZONIE PERIANDINE

Les cinq premières des unités ci-après regroupent des paysages situés entre 1200 et 300 m, en contrebas des reliefs andins et subandins. Elles sont constituées de formations détritiques plio-quaternaires.

*Le vieux piémont central : mesas et reliefs dérivés* : Il s'agit des témoins d'un vaste glacis déritique plio-pleistocène qui s'étendait en éventail ouvert à l'est, depuis le débouché andin du rio Pastaza : la formation Mesa des géologues. Les *mesas* (témoins tabulaires) sont sous-tendues par des bancs de grès verdâtres fins, riches en minéraux volcaniques, qui supportent des sols « bruns K ». En aval, elles cèdent la place à des reliefs dérivés, collines bi-concaves sur les flancs desquelles ils sont associés à des sols rouges, développés sur les argiles sous-jacentes aux grès.

*Le second piémont : gradins médians*. Il s'agit des témoins de nombreux glacis postérieurs, coalescents ou étagés, englobés dans la formation Mera : plateaux suspendus au dessus de 600 m ; hautes plaines plus proches du niveau de base local (300 m), tous couverts de sols « bruns H », directement issus de conglomérats à galets volcaniques.

*Le second piémont : gradins éloignés*. Il s'agit de plaines, terrasses et cordons formés de strates sableuses ou limoneuses, riches en minéraux volcaniques, évoluées en sols « bruns A ». Ces gradins débordent les limites de la formation Mera.

*Les piémonts indifférenciés proches, sous cendres* : Cette unité englobe des éléments du vieux piémont et les gradins proches du second, situés au plus près des Andes et couverts de cendres évoluées en sols « beiges » sous l'influence de précipitations excessives.

*Les piémonts du sud* : Il s'agit d'un ensemble de petits cônes détritiques coalescents, constitués de roches majoritairement acides ou de placages sédimentaires miocènes, disséqués en collines ou en chevrons émoussés, évolués en sols « jaune/rouge ».

*Les collines périandines*. Elles sont disséquées dans des sédiments miocènes monoclinaux (grès, pélites et conglomérats), nivellées et couvertes de sols « rouges ».

*Les terrasses, marécages et mauretales*. Ces paysages correspondent à l'ensemble des formations issues de la dynamique fluviale quaternaire et actuelle, par arasement ou dépôt, plus ou moins anciennes et plus ou moins bien drainées, évoluées en sols « gris », « bleus » ou « roses ». Les *mauretales* sont des palmeraies monospécifiques (1) soumises à un engorgement permanent et où dominent les sols « bleus ».

#### LES SOLS DE L'AMAZONIE EQUATORIENNE

##### *Profils, sols, couvertures et codes*

Bien qu'il s'agisse d'une région vaste et d'accès malaisé, les moyens affectés à son inventaire furent excessivement limités. Dans ces conditions et compte tenu de l'infinie diversité naturelle des profils, ce que nous avons pu décrire et délimiter, ce sont des couvertures (ensembles de profils dissemblables mais affines, incompatibles avec ceux de quelqu'autre ensemble) plutôt que des sols (extensions homogènes d'un seul et même type de profil).

Les traits et paramètres qui définissent une couverture peuvent être tout autres que ceux qui définissent une catégorie taxonomique. Réciproquement, il pourrait être difficile ou impossible de délimiter concrètement l'extension locale de catégories taxonomiques. Par ailleurs, celles-ci sont généralement chargées de connotations qui risquent d'ajouter ou de retrancher indûment à la perception exacte de l'objet naturel. Il est d'autant plus délicat d'y recourir qu'on dispose rarement de toutes les données que requiert leur emploi. C'est pourquoi nous avons préféré caractériser les sols ou les couvertures par les traits ou paramètres qu'il nous était possible de réunir et qui semblaient les plus discriminants, les plus simples et susceptibles de comparaisons immédiates. Les équivalents taxonomiques ne sont proposés qu'à titre de références.

Pour abréger l'exposé, nous avons codé nos catégories de sols. Nous l'avons fait en termes de couleurs parce que celles-ci sont accessibles à tous et conformes à la réalité courante. Il se trouve que dans l'Amazonie équatorienne, les couleurs peuvent être les seuls critères immédiatement sensibles qui soient communs à tous les profils d'un ensemble, non sans que la cohérence et l'individualité de celui-ci ne s'imposent.

(1) *A Mauritia flexuosa* dit *maurete*, d'où *mauretales* (*aguaje* et *aguajales* au Pérou).

### Méthodes, paramètres et symboles abrégatifs

. Les réactions sont notées x/y, x étant le pH moyen des horizons superficiels d'une couverture et y celui des horizons sous-jacents — soit pratiquement les horizons A et B. Il s'agit du pH eau, 1 : 2,5.

. S = somme des bases échangeables extraites par l'acétate d'ammonium à pH 7, en mé/100 g de sol.

. T = capacité d'échange cationique mesurée par l'acétate de calcium à pH 7, en mé/100 g de sol ; T/A = la même, rapportée à 100 g d'argile.

. V = S/T : saturation du complexe d'échange en %. Un horizon est dit eutrique, mesodystrique ou perdystrique pour des valeurs de V seuillées à 50 %, 20 % et 07 %.

. m =  $100Al/(Al + S)$  : indice de KAMPRATH, Al étant la teneur en aluminium échangeable extrait par le chlorure de potassium. La toxicité aluminique est dite négligeable, moyenne, forte ou extrême aux seuils respectifs de 25 %, 60 % et 85 %.

. R = résidu insoluble de l'attaque totale triacide (ATT).

. Ki = rapport moléculaire Silice/Alumine selon l'ATT. C'est un indice du processus ferrallitique dont le seuil théorique est 2,00 et le seuil toléré, 2,20.

. Pt = Phosphore total extrait par l'acide nitrique ; Pa = Phosphore assimilable extrait par la méthode de Bondy (OLSEN-DABIN).

. Le test FNa est celui de FIELDS et PERROT. Il indique, dans certaines conditions, la présence d'allophanes.

. Les minéraux, argileux ont été déterminés par diffractométrie des rayons X.

. A l'état naturel, sous forêt, les horizons A des sols évolués sont assez semblables et ne donnent pas lieu à observations particulières. Sauf indication contraire, les traits et paramètres cités pour caractériser un profil ou une couverture sont ceux des horizons subsuperficiels, soit des horizons B.

. Une approche taxonomique est proposée par référence aux systèmes usuels, français (C.P.C.S., 1967) et américain (S.M.S.S., 1983).

### 01. Roches, sols minéraux bruts et sols peu évolués (1)

Cités pour mémoire, ils correspondent notamment aux zones érodées, aux apports volcaniques ou alluviaux récents, aux affleurements de quartzite et aux zones froides.

### 02. Les sols « gris » des vallées

(réf. P42)

(alluviaux, bisiallitiques, hydromorphes, eutriques).

Il s'agit de l'ensemble des sols alluviaux non-marécageux des vallées, formés de dépôts récents, d'origine majoritairement volcanique, renouvelés par les crues et insuffisamment drainés.

**Morphologie.** Les profils sont stratifiés ; les couches les plus consistantes sont de textures limoneuses ou appa-rentées. Leurs couleurs originelles — de gris-verdâtre à beige — sont altérées par hydromorphie.

**Constitution minéralogique.** Les constituants des roches volcaniques prédominent souvent parmi les minéraux primaires. Les minéraux argileux représentent un héritage complexe, sans néoformations. La montmorillonite prédomine, mêlée de kaolinite et d'illite, de gibbsite (traces) mais non d'halloysite. En raison des taux importants de sables, les capacités d'échange ne dépassent généralement pas 30 mé/100 g.

**Comportement physico-chimique.** L'acidité est modérée (pH : 6.0/5.7) : moindre en surface contrairement à ce qu'on observe sur les couvertures évoluées des interfluvies. Les sommes de bases sont comprises entre 2 et 25 mé ; les saturations entre 30 et 90 %. Le taux d'aluminium échangeable est généralement négligeable.

**Fertilité.** Ces sols sont profonds et meubles, parmi les moins acides et les plus riches en bases de l'Amazonie équatorienne ; assez bien pourvus en matière organique, modérément en phosphore mais non carencés.

**Approche taxonomique.** Il s'agit de sols alluviaux ou hydromorphes selon les cas, à caractères bisiallitiques et eutriques ; d'aquic tropofluvents, aquic eutropepts, tropaquentes et tropaquepts.

**Utilisation.** D'accès facile et potentiellement fertiles ils sont menacés par les crues de sorte que leur exploitation reste partielle, temporaire et extensive.

### 03. Les sols « bleus » des marécages

(réf. P42).

(hydromorphes, organiques ou minéraux).

**Environnement morpho-pédogénétique.** Les zones déprimées du complexe fluvial sont périodiquement submergées par infiltration ou débordement lors des crues. Faute d'exutoire, les eaux séjournent et se décantent. Le drainage interne étant nul, l'engorgement des profils est permanent. La végétation et la faune sont adaptées à ce régime.

**Morphologie.** Les horizons organiques sont formés de matière fibreuse (jusqu'à 70 %) et de flocons colloïdaux bruns. Leur épaisseur peut dépasser 2 m. Les

(1) Pour illustrer les exposés ci-après, on peut se reporter déjà aux figures du chapitre : Comparaison graphique.

horizons minéraux sont limoneux à limono-argileux, massifs, fluides ou plastiques, diversement teintés ou bariolés de jaune, gris et bleu.

**Constitution minéralogique.** Elle est dominée par un taux élevé de quartz : le résidu insoluble de l'ATT atteint en effet 52 % dans un profil dont les fractions granulométriques fines représentent 96 %. Le rapport Ki est toujours supérieur à 2,70. Les minéraux argileux sont surtout l'illite, la montmorillonite et la kaolinite accompagnées de chlorites, de cristobalite parfois et de traces de gibbsite, très exceptionnellement d'hallowysite. Les valeurs de T ne dépassent pas 30 mé dans les horizons minéraux ; elles atteignent 90 mé dans les horizons organiques.

**Comportement physico-chimique.** Les horizons organiques peuvent être très acides (pH 4.5), pauvres en bases et très fortement désaturés (5 %). Les horizons minéraux par contre sont modérément acides (pH 5.7) et très riches en bases, saturés à 50 voire 90 %. L'aluminium échangeable y est négligeable.

**Fertilité.** Les horizons minéraux, riches en bases, correctement pourvus de phosphore mais dépourvus d'azote sont d'une fertilité problématique : sous condition de drainage et d'élimination ou incorporation de la matière organique supérieure.

**Approche taxonomique.** Il s'agit de sols hydromorphes, minéraux ou organiques à gley, bisiallitiques ; d'*hydric tropofibrists*, de *fibric tropaquepts* ou de *typic tropaquepts*.

**Utilisation.** Ce paysage, très caractéristique de la basse Amazonie, offre de grandes potentialités dont l'exploitation est rendue délicate par les difficultés de drainage.

#### 04. Les sols « beiges » des paysages couverts de cendres

(réf. P12, P15, P21, P25, P32-35)

(andosols allitiques perhydratés, perdystriques)

**Environnement morpho-pédogénétique.** Les couvertures cendreuses s'étendent à quelques 80 km autour des volcans actuels ou récents à ceci près qu'on n'en trouve pas de traces certaines en dessous de la cote 600 m. Le sud de l'Amazonie équatorienne en est dépourvu.

A la surface des zones de recouvrement, les conditions de la pédogenèse sont loin d'être uniformes. C'est dans la tranche altitudinale 2500-600 m, soumise aux plus fortes précipitations, que se forment les sols « beiges » qui comptent parmi les sols les plus importants de l'Amazonie équatorienne. C'est de ceux-ci qu'il sera d'abord question.

Dans les situations les plus typiques, les dépôts pyroclastiques sont récents, profonds, homogènes, friables, bien drainés et soumis à une intense percolation. Originellement sous forêt, ils évoluent vite et intensément.

**Morphologie.** Les sols « beiges » sont profonds, massifs, homogènes, excessivement friables (doués du toucher thixotropique, onctueux, caractéristique) dans le prolongement d'une altérite également meuble et homogène sur plusieurs mètres. On ne voit ni cendres brutes ni indurations.

Les profils sont de type A (B) C avec un A de couleur sombre (10YR2/1) et un B beige (10YR4/4). La matière organique est très abondante (plus de 20 % entre 2 et 20 cm — plus de 10 % entre 20 et 40 cm), même lorsque la coloration ne la trahit pas. La granulométrie est indéfinissable, de type « franco-sableux » (1), autrement dit pauvre en argile. Le trait discriminant est la spongiosité d'horizons qui contiennent au moins 100 % d'eau et jusqu'à plus de 300 %.

**Constitution minéralogique.** Les valeurs de Ki sont comprises entre 1,40 et 1,00. L'allophane alumineuse prédomine en présence de gibbsite, d'un peu de cristobalite et d'hallowysite. Les capacités d'échange sont toujours supérieures à 20 mé % ; elles atteignent 50 dans les horizons organiques.

**Comportement physico-chimique.** L'acidité est modérée (pH 5.2/5.5/5.8). La somme des bases échangeables varie de 12 à 1 mé % dans le niveau organique pour chuter jusqu'à 0,3 dans le niveau minéral. Parallèlement, la saturation passe de plus de 15 % à moins de 5 % voire 1 %. Les taux d'aluminium échangeable varient sans raisons présumées, entre 12 et 70 %.

**Fertilité.** Ces sols présentent des traits contradictoires : ils sont meubles mais fragiles, riches au niveau organique mais très pauvres au niveau minéral et imprévisibles quant à la toxicité aluminique. Les taux de phosphore total et assimilable toutefois sont assez élevés (plus de 2000 et 100 ppm respectivement) et leurs rapports semblent indiquer de faibles pouvoirs fixateurs.

**Approche taxonomique.** Il s'agit d'andosols alumineux, perhydratés et perdystriques ; d'*hydrandepts*.

**Utilisation.** Cette couverture est caractéristique de la pédogenèse tropicale en région volcanique humide. Elle est intrinsèquement pauvre : impropre à soutenir l'exportation continue et non-compensée du peu de nutriments qu'elle contient. Elle est excessivement sensible aux effets de la mécanisation et du piétinement qui induisent la formation d'un pseudo-gley sub-superficiel et le compactage de telle sorte que certains vieux pâturages sont irréversiblement stérilisés.

(1) Cf. triangle textural (fig.6).



De plus, elle est associée à des climats excessivement arrosés et nébuleux ainsi qu'à des reliefs mouvementés. Les potentialités des paysages s'en trouvent drastiquement restreintes et seuls quelques facteurs liés à l'histoire et à la situation expliquent, sans le justifier, la pression colonisatrice dont ils sont l'objet.

En raison du pouvoir couvrant des cendres et des propriétés des sols, le système forêt/sols/cendres semble doué d'un puissant pouvoir de stabilisation vis à vis du relief et des écoulements. Il y a lieu de s'interroger quant aux conséquences hydrologiques de sa dénaturation.

*Les sols de type noir/beige.* Au-dessus de 2500 m, températures et précipitations se réduisent tandis que les cendres sont souvent plus récentes et plus grossières. Leur météorisation est alors loin d'être aussi complète. A côté de sols non ou peu évolués, on observe des andosols vitriques (*vitrandepts*) ou allophaniques non-perhydriques (*dystrandepts*). Ceux-ci peuvent être intensément lixiviés ( $V = 2\%$ ) tandis que le Ki reste supérieur à 2,50.

*Sols remaniés.* Il existe toutes sortes de profils moins typiques qui correspondent aux zones accidentées où les dépôts pyroclastiques sont moins épais (d'origine ou par érosion) et remaniés.

#### 05. Les sols « rouges » des collines périandines

(réf. P41)

(fersiallitiques et ferrallitiques associés, peracides et perdystriques).

*Environnement morpho-pédogénétique.* La dissection collinaire de strates monoclinales minces et disparates rend imprévisible l'affleurement des unes ou des autres ainsi que le conditionnement pédogénétique correspondant. Or, les conglomérats ne contiennent que les minéraux originellement métamorphiques ou magmatiques des galets ou arènes ; la nature, le calibre, la disposition de leurs éléments ou des particules de ceux-ci ne font pas obstacle à la percolation des eaux ni à l'approfondissement de la pédogenèse. Pérites et grès par contre peuvent contenir des minéraux argileux néoformés en phase sédimentaire ; la nature, le calibre, l'orientation de ces roches et des particules constitutives sont propres à limiter la percolation et bloquer la pédogenèse par confinement.

C'est pourquoi la couverture des collines présente une association de profils, tous rouges, peracides et perdystriques, mais géochimiquement distincts. Leurs principaux traits et paramètres s'ordonnent entre un pôle bisiallitique (rouges M) et un pôle monosiallitique (rouge K). Les uns sont présumés issus des pérites et grès ; les autres des conglomérats.

La dualité des profils « rouges » n'avaient pas d'emblée retenu notre attention et n'est apparue qu'à la lecture des résultats d'analyse. Il n'a pas été possible de revenir sur le problème de filiation et de répartition spatiale. Dans un contexte sédimentaire, il sera toujours difficile de prouver que tel profil est bien issu de matériaux identiques à ceux des strates sous-jacentes plutôt qu'à quelque strate disparue. Nous avons observé 2/3 de profils de type M pour 1/3 de profils de type K.

*Morphologie.* Les profils « rouges » sont caractérisés par la prédominance des horizons altéritiques, de profondeur telle qu'on n'a jamais vu de roches saines. Sous forêt, tous les horizons A sont similaires ; la matière organique y est très abondante (6 % de 0 à 5 cm, 2,5 % de 5 à 40 cm). Ce sont les horizons B qui diffèrent.

Les uns (M) sont clairs (5YR/5/8), peu différenciés, prolongés à faible profondeur (0,50 à 1,50 m) par une plinthite, argileux (30 à 60 %) et compacts. Les autres (K) sont plus foncés (2,5YR4/8), plus profonds, apparemment mieux organisés et drainés, plus argileux (40 à 80 %) et dépourvus de plinthite. Pour les uns comme pour les autres, les argiles se dispersent aisément. Il y en a toujours moins en A qu'en B mais rien ne confirme un véritable transfert de type argilique. On n'observe ni *stone-lines*, ni indurations ni concrétions.

*Constitution minéralogique.* D'un profil à l'autre, on trouve toutes les nuances de constitution entre les deux pôles. Ki varie de 3,40 à 1,90. La montmorillonite, plus ou moins accompagnée d'illite et de vermiculite, cède parallèlement le pas à la kaolinite désordonnée avec un peu de gibbsite ; T passe de plus de 40 mé à moins de 10 mé : T/A de plus de 100 mé à moins de 10. Par ailleurs, le taux de résidu insoluble et inerte de l'ATT est généralement très élevé dans les « rouges M » (60-30 %) ; beaucoup moins dans les « rouges K » (40-04 %). Le taux d'oxydes ne dépasse pas 15 %.

*Comportement physico-chimique.* L'acidité est extrême, surtout en surface, pour tous les profils de la gamme (pH 4.3/4.4 (M) ou 4.1/4.6 (K)).

Les valeurs de S et V montrent que l'acidification et la lixiviation augmentent d'un pôle à l'autre mais sont plus précoces et plus radicales que l'évolution géochimique : elles affectent intensément les profils bisiallitiques. Pour ceux dont le Ki est encore compris entre 3,00 et 2,55, S est déjà inférieur à 2,5 mé, V inférieur à 15 %. Pour Ki entre 2,50 et 2,20, S est inférieur à 0,9 et V (en raison d'une capacité d'échange encore élevée) tombe à moins de 5 % et jusqu'à 1 %. Lorsque Ki passe au-dessous de 2,20, S s'abaisse encore mais V remonte jusqu'au-dessus de 7 %.

Le taux d'aluminium échangeable sont toujours excessifs, entre 80 et 98 %, plus forts peut-être pour les sols « rouges M ».

TABLEAU II  
Variations du contenu minéralogique et du complexe absorbant des sols rouges

Ki	Mon	Ill	Ver	Kao	Gib	T/A (1)	S (2)	V %
3.00	+	+	+	+		> 100	12-9	40-20
2.55	+	+	+	+		60-40	2-0,3	15-1
2.20		+	+	+	+	40-24	0,9-0,2	5-1
2.00			+	+	+	24-16	0,8-0,2	8-2
1.90				+	+	16-8	0,8-0,2	8-4

(1) mé pour 100 g d'argile

(2) mé pour 100 g

**Approche taxonomique.** Il s'agit d'une association de profils ferrallitiques et fersiallitiques désaturés, très fortement pour la plupart. Par ailleurs, ces profils fersiallitiques présentent les traits du descriptif ferrallitique (SEGALEN, 1966).

Les classificateurs américains tendraient sans doute à voir là une association de *typic* et *orthoxic tropudults* ou *paleudults* bien que le caractère argilique des horizons B nous ait paru inconstant et douteux. Ce doute nous renvoie à une association de *typic* et *oxic dystropepts* et d'*haplorthox*. Encore que des taux de 2,5 % de matière organique observés sous forêt entre 0 et 40 cm de profondeur impliquent environ 15 kg de carbone au m<sup>2</sup>, ce qui nous reporte à des *humitropepts* !

**Fertilité.** Il s'agit de sols généralement compacts, peracides, perdystriques et peraluminotoxiques. La forte capacité d'échange des « rouges M » n'offrirait d'avantages que dans l'hypothèse d'une fertilisation chimique et sous réserve d'expérimentation. Dans l'immédiat, elle ne se traduit que par une intense libération d'ions H<sup>+</sup> (\*) et Al<sup>+++</sup>.

S'y ajoute une extrême pauvreté en phosphore : généralement moins de 700 et 30 ppm de phosphore total ou assimilable respectivement, avec présomption de pouvoir fixateur moyen ou fort.

On voudrait pouvoir porter au crédit de ces sols les teneurs en carbone, azote et bases des horizons superficiels mais le défrichement et l'exploitation ont trop souvent pour effet de les décaper ou de les dénaturer, surtout sous l'effet de la mécanisation ou du pâturage, de sorte que les potentialités des profils se trouvent ramenées à celles des horizons plus profonds.

**Diagnostic.** L'originalité de cette couverture est de n'être pas aussi intensément ni complètement ferrallitique que le laissait présumer l'étude du climat. Moins intense et

moins précoce que l'altération physico-chimique, la dégradation minéralogique en est déconnectée. Les péripéties climato-eustatiques anciennes ou sub-actuelles en sont peut-être responsables, des profils en voie de ferrallitisation ayant vu leur évolution remise en cause par suite de troncature et n'ayant pu rattraper le retard ainsi pris.

La nature des matériaux originels n'est pas non plus étrangère à cet état de chose. La météorisation de certaines roches, excessivement riches originellement en minéraux 2/1 est susceptible d'avoir libéré de plus grandes quantités de ces minéraux que l'hydrolyse n'en a pu éliminer, cette libération ayant eu pour effet de limiter ou de bloquer la percolation des solutions.

Les collines et leurs sols rouges constituent le paysage le plus étendu l'Amazonie équatorienne, celui dont la gestion — adaptée ou non à ses potentialités réelles — pèsera du plus grand poids sur l'évolution écologique, économique et humaine de la région. Or, les sols sont pauvres et aucune technique ne permettra d'en extraire plus de nutriments exportables qu'ils n'en contiennent. Il n'y aurait de parti commercial à en tirer qu'au prix de fertilisations massives, sous réserve de pratiques culturales idoines, ou par la production d'une hypothétique denrée dont la valeur marchande soit sans proportion avec ses exigences en nutriments.

#### 06. Les sols bariolés (« roses ») des vallées

(réf. P42)

(hydromorphes, fersiallitiques et ferrallitiques, perdystriques)

**Environnement morpho-pédogénétique.** Ces sols occupent quelques surfaces relativement hautes et présumées anciennes, du complexe fluvial : terrasses d'apport ou d'arase-ment, hors d'atteinte des crues actuelles mais mal drainées.

**Morphologie.** Les profils sont de type A(Bg)Cg avec des horizons A brun-gris, Bg bariolés de tâches

(\*) H<sup>+</sup> et Al<sup>+++</sup>.

jaune-gris-rouge plus ou moins fondues en « rose » et Cg plinthitiques. Les textures sont « franco-argileuses » à « limono-argileuses ». Les stratifications ont disparu ; il n'y a ni indurations ni concrétions.

**Constitution minéralogique.** Les valeurs de Ki varient entre 2,50 et 2,00. Les argiles sont mêlées (montmorillonite, illite, vermiculite, kaolinite, halloysite) avec un peu de gibbsite et de cristobalite parfois, et des taux élevés de résidu insoluble ATT jusque dans les fractions fines. Les valeurs de T se situent entre 30 et 8 mé soit généralement plus de 24 mé/100 g d'argile.

**Comportement physico-chimique.** Ils sont peracides (pH : 4.5/4.9) et perdystriques (S le plus souvent inférieur à 1 mé avec V inférieure à 7 %), peraluminotoxiques (m entre 75 et 95).

**Approche taxonomique.** Il s'agit de sols hydromorphes fortement désaturés ; *aquic dystropepts* ou *plinthaquepts*.

**Fertilité.** Elle est très faible. Les taux de phosphore total et assimilable sont respectivement inférieurs à 700 et 80 ppm.

**Utilisation.** Ces sols résultent d'alternances de conditionnement ferrallitique ou hydromorphe. Ils dérivent des sols « rouges ». Leur pauvreté intrinsèque et le mauvais drainage privent le paysage correspondant de potentialités. Il importe d'en tenir compte dans l'évaluation des paysages du milieu fluvial ; il ne faut pas les amalgamer aux sols « gris ».

## 07. Les sols « jaunes » du couloir de Limon

(réf. P24)

(fersiallitiques et ferrallitiques pénévoués associés, perdystriques).

Diverses particularités, dont la couleur jaune, rangent ces sols à part des autres couvertures. Leur caractérisation est néanmoins délicate, du fait du petit nombre d'observations, du niveau exploratoire des analyses effectuées et de leur nature même. La couverture associe des profils affines dont les matériaux originels ne sont peut-être pas toujours identiques et dont les degrés d'évolution sont sensiblement déphasés. Ils occupent la zone d'affleurement des sédiments à faciès *flysch* du « groupe Limon » (D.N.G.M., 1982), là où ils ne sont pas fossilisés par des cendres.

Ce faciès présente de fines stratifications de pélites, grès et marnes, alternant avec des bancs massifs de calcaires noirs, à huitres. Des morceaux polyédriques de pélites météorisées figurent à la base des profils et il semble que la couverture dérive essentiellement des strates grès-pélitiques ou de marnes, tandis que les calcaires se dissoudraient dans laissent de résidus. Par ailleurs, le paysage est disséqué. La météorisation très inégale

des strates du *flysch* et la dissolution des calcaires semblent être causes de fréquents foirages des pentes et de remaniements ou rajeunissements imprévisibles des profils.

**Morphologie.** Il s'agit de profils de type A (B) C, peu profonds et peu différenciés mais complexes. Les textures sont « franco-argileuses ». Les couleurs sont, en (B) : 7.5YR5/6, 10YR5/6-5/8. La matière organique est exceptionnellement abondante, tant sous forêt que sous pâturages (19 % de 0 à 10 cm, 5 % de 20 à 40 cm).

**Constitution et comportement.** Dans certains profils, les valeurs de Ki s'abaissent à 1,70. La diffractométrie RX révèle la présence de gibbsite en même temps que d'illite, de vermiculite... parfois sans kaolinite. Les valeurs de T vont de 50 à 13 mé, soit pour T/A de 100 à 30 mé. L'acidité, la désaturation et l'alumino-toxicité sont extrêmes (pH : 4.5/4.8 — S : 0,2 mé — V : 1 % — m : 98 %). On observe cependant, ici, des profils acides et dystriques à la base desquels subsiste une roche calcaire, et là, un profil quasi-neutre (pH : 5.9/6.7) et eutrique (S : 20 mé — V : 80 %).

**Approche taxonomique.** Les profils les plus évolués sont ferrallitiques pénévoués à phyllites 2/1 résiduelles, très fortement désaturés : des *typic humitropepts*. Ils sont associés à des profils fersiallitiques eutriques : des *eutropepts*.

**Fertilité.** La plus grande partie de ce paysage instable semble couverte de sols très bien pourvus en carbone et azote, et assez bien pourvus en phosphore (plus de 700 ou 30 ppm respectivement de Pt ou Pa) mais dont il faut souligner les caractères peracides, perdystriques et peraluminotoxiques. Ils sont très sensibles à l'érosion, par ravinement ou par foirage, et au piétinement qui induit la formation de gley subsuperficiel.

**Utilisation.** Il s'agit d'une couverture « en voie d'évolution » ; le processus ferrallitique est à l'œuvre, mais il paraît freiné par l'héritage minéralogique sédimentaire et remis en cause périodiquement par le rajeunissement des versants. Faute de référence expérimentale, il est difficile d'émettre un jugement quant aux potentialités. A s'en tenir à certains paramètres, elles sont très faibles. Il est certain que la gestion qui prévaut actuellement et se résume au transfert de pratiques agropastorales inadaptées conduit à une dégradation irréversible du paysage. Il n'y a de présomption de fertilité que sur les sols jaunes eutriques à base calcaire mais ils sont d'extension trop limitée.

## 08. Les sols « jaunes et/ou rouges » du sud

(réf. P18, P26, P36)

(ferrallitiques, perdystriques)

Les sols des reliefs montagneux et collinaires du sud sont de coloration rouge, jaune, jaune/rouge ou noir/-

jaune/rouge. Ils sont majoritairement monosiallitiques, peracides, perdystriques,... mais très diversifiés par la profondeur et la morphologie. On ne peut préciser la représentativité des profils les plus remarquables qui ont été observés.

*a. Le type « noir/jaune/rouge » des crêtes non-rocheuses.*

Il ne se développe et ne se conserve bien que sur pentes faibles, à la faveur d'un climat frais, arrosé ou nébuleux : sur les zones de changement de pente formant cols, au-dessus des versants disséqués mais au-dessous des crêtes rocheuses décapées par les glaciers.

L'aspect tricolore est remarquable. Un horizon organique fibreux noir et un horizon humifère gris foncé (10YR2/2) surmontent un B1 argileux jaune (10YR6/8) et un B2 argileux rouge (5YR6/5), puis une altérite piquetée de blanc et rouge. Le tout est massif, fondu, plastique.

Il n'y a pas d'indices visibles de transfert d'argile et les données granulométriques sont faussées par une très forte pectisation ; il y a pour le moins un appauvrissement de A. Le résidu ATT est beaucoup plus important en A (50 %) qu'en B1 (39 %) et B2 (29 %).

Le rapport Ki tombe à 1,10 en B1 ; la gibbsite est très abondante dans tout le profil, en présence néanmoins d'interstratifiés, d'illite, vermiculite, chlorite et metahalloysite, la roche-mère étant un micaschiste. La capacité d'échange est très forte dans les horizons humifères mais très faible dans les horizons B (12 mé). Le profil est peracide (4.2/4.8), perdystrique (S : 0,1 mé — V : 1 %), peraluminotoxique (m : 98 %). Le phosphore est très déficient (Pt : 400 ppm et Pa : 20 ppm). Compte tenu de l'altitude et du climat, les potentialités sont très faibles. Les paysages correspondants sont d'ailleurs réduits à un couvert de fourrés.

Il s'agit de sols ferrallitiques humifères très fortement désaturés, pénévulés ; d'*humoxic tropohumults*, *orthoxic tropodults* ou *acrophumox*. Ce type de profil est commun à diverses surfaces hautes de la Sierra du sud et aux lignes de crêtes du sud. Il semble représenter le terme ultime de l'évolution la plus ancienne sinon la plus intense des couvertures de cette région.

*b. Sols « jaunes et/ou rouges » des versants montagneux*

Les profils observés sur les hauts versants montagneux sont peu profonds. Ils semblent dériver du type précédent par rajeunissement de pentes naturellement instables, livrées de plus au déboisement et au surpâturage. Leurs horizons sont comme télescopés.

Ki se situe entre 1,70 et 2,00. Les argiles sont diverses, sans évidences de gibbsite. T est élevée. L'acidité est très forte (4.8/5.1). Dès que l'horizon humifère s'amenuise, la somme des bases tombe à moins de 1 mé ; la saturation à moins de 07 % ; m est voisin de 75 %.

*c. Sols « rouges » des piémonts collinaires*

Ils sont remplis de blocs et gravats colluviaux, majoritairement acides, mais la terre fine rouge qui les enrobe peut atteindre plus de 1 m de profondeur. Par la composition et le comportement, ils sont voisins des précédents. Ils semblent très aptes aux cultures arbustives.

Au hasard des sondages, nous avons rencontré, sur les versants du sud, un profil rouge fersiallitique acide et un autre, saturé.

**09. Les sols « bruns » des piémonts périandins**

Ces piémonts (à l'exception de ceux du sud) ont été constitués par 3 générations de nappes détritiques plio-quaternaires formées de grès, conglomérats, limons ou sables d'origine majoritairement volcanique. A la surface de leurs témoins (à l'exception de ceux qui sont couverts de cendres), on constate la présence de sols originaux, très caractéristiquement bruns (7,5YR4/4).

Dans cet ensemble, il y a lieu cependant de distinguer 3 couvertures qui diffèrent par la nature des argiles prédominantes. Chacune est assortie à l'un des 3 paysages de ces piémonts.

Si spécifiques que soient ces 3 couvertures, leur description n'est pas moins malaisée en raison de la variabilité interne des profils qui les constituent. Chacune d'elle en effet associe des profils dont les degrés d'approfondissement, de différenciation, d'évolution minéralogique et physico-chimique sont assez largement étalés, tout en se situant de façon cohérente sur un même axe évolutif : celui de la ferrallitisation.

Pour chaque couverture, il faut prendre en considération des profils plus ou moins profonds et plus ou moins évolués. Il vient à l'esprit de les organiser en séquences, mais cela ne serait possible qu'au terme d'analyses structurales de terrain qui n'ont pu être effectuées. S'agit-il de séquences progressives (par approfondissement pédogénétique) ou de séquences régressives (par rajeunissements érosifs) ? On ne peut ni réduire une couverture à ses termes extrêmes ni décrire tous les termes intergrades qui sont trop nuancés.

Nous insisterons sur les termes extrêmes de l'évolution ferrallitique, ancienne sinon actuelle, considérés comme « modaux » et nous tenterons de borner la gamme des intergrades associés. Les proportions et les modalités de l'association restent conjecturales.

**09a. Les sols bruns à kaolinite desordonnée (« bruns K ») du vieux piémont**

(réf. P31)

(ferrallitiques peracides et perdystriques (modaux)).

*a. Environnement morpho-pédogénétique.* Ces sols couvrent les *mesas* et leurs reliefs dérivés. Ils semblent être issus des *grauwackes* : grès fins riches en olivines, augites et hypersthènes.

**Morphologie.** Les profils modaux sont de type ABC, très profondément différenciés sous un aspect massif, homogène, brun, de texture excessivement argileuse (90 %). Les argiles sont néanmoins pectisées et se dispersent très malaisément. Les horizons A sont sans doute appauvris en argile mais rien ne prouve qu'il y ait accumulation dans les horizons B sous-jacents. Ceux-ci sont organisés, poreux, friables à l'état naturel mais toute pression les rend compacts, plastiques et cohérents. Il n'y a ni concrétions, ni indurations ni plinthites.

**Constitution minéralogique et comportement physico-chimique**

Dans les profils modaux, le Ki s'abaisse à 1,70. La kaolinite désordonnée prédomine, en présence de gibbsite, de goëthite et d'hématite. Le résidu insoluble ATT est inférieur à 10 %. Le taux d'oxydes dépasse 15 %. La capacité d'échange tombe à moins de 10 mé, le rapport T/A voisine 11 % compte tenu du taux élevé d'argile.

L'acidité est extrême (4.3/4.9). La somme des bases est inférieure à 0,5 mé ; la saturation voisine de 5 % ; le taux d'aluminium échangeable est très élevé (80-90 %).

**Variantes.** Aux profils modaux sont associés divers profils, moins profonds, moins différenciés, moins argileux, moins homogènes, jusqu'à des profils squelettiques qu'on peut considérer comme les représentants d'un pôle initial de la pédogenèse ou d'un pôle ultime de l'érosion. Tous cependant présentent un rapport Ki déjà inférieur à 2,20 et contiennent de la gibbsite, du moins en traces. Leur acidité est modérée (5.0/4.8) ; La somme des bases, voisine de 5 mé peut atteindre 9 mé ; la saturation augmente de 5 à 50 % tandis que le taux d'aluminium passe de 80 à 20 %.

**Approche taxonomique.** Il s'agit de sols ferrallitiques, fortement, moyennement ou faiblement désaturés, typiques ou appauvris, des *haplorthox* ou des *oxic dystropepts*.

**Fertilité.** Les profils modaux sont très profonds, argileux, lixiviés, acides et aluminotoxiques. Ils comptent à ce titre parmi les plus pauvres bien que relativement bien pourvus en phosphore total et assimilable (plus de 1800 et 70 ppm respectivement). Les profils intergrades et superficiels par contre offrent des textures plus légères, des consistances plus meubles et des réserves de nutriments à moindre profondeur. Ils sont riches en bases et en phosphore (plus de 2000 et 200 ppm), ce qui les situe parmi les bons sols de cette région.

**Utilisation.** Dans le paysage des *mesas*, la ferrallitisation est indubitablement à l'œuvre mais la proportion et les modalités de répartition des profils évolués

à terme nous échappent. Les profils jeunes ou rajeunis offrent de bons indices de fertilité. Compte tenu de certaines limitations comme l'accessibilité, ce paysage n'est pas dépourvu de potentialités.

**09b. Les sols bruns à halloysite (« bruns H ») du second piémont : plateaux et hautes plaines**

(réf. P33)

(ferrallitiques acides et perdystriques (modaux))

**Environnement morpho-pédogénétique.** Ils occupent des surfaces planes ou faiblement ondulées, constituées en gradins par des dépôts plus ou moins puissants de galets et sables volcaniques. Ils sont bien drainés.

**Morphologie.** Les profils modaux sont très profonds, massifs, homogènes, friables, extrêmement argileux (85 %), bruns, sans indurations, concrétions, taches ni plinthites. Ces caractères sont moins accusés dans les profils intergrades. Les profils squelettiques ne sont que l'emballage argilo-limoneux de galets écaillés. Rien ne distingue a priori ces sols de ceux des *mesas* si ce n'est l'environnement et la présence des galets à la base.

Les horizons A sont appauvris. Les argiles se dispersent mal et la dispersion n'est à peu près complète que par traitement ultra-sonore.

**Constitution et comportement.** Dans une série de profils profonds considérés comme « modaux », le résidu ATT est inférieur à 9 % ; la gibbsite et la métahalloysite sont nettement prédominantes et le Ki s'abaisse jusqu'à 0,70 ; T jusqu'à 9 mé ; T/A jusqu'à 11 mé. Ces profils sont peracides (4.8/5/0), perdystriques (S : 0,8-0,3 mé ; V : 8-3 %), aluminotoxiques (m : 60-70 %).

Dans une série de profils semi-profonds (1 m), les taux de résidus insolubles ATT remontent (10-30 %) ; les valeurs de Ki restent comprises entre 1,50 et 1,70 et les halloysites et métahalloysites prédominent ; la gibbsite est moins abondante tandis qu'apparaissent des substances amorphes (T : 20-30 mé — T/A très élevée). La proximité des galets andésitiques météorisés se traduit par les valeurs de S (4-10 mé), V (13-33 %) et m (inférieur à 60 %).

Dans une série de profils d'apparence squelettique, on constate que Ki est déjà inférieur à 2,14 mais que la cristobalite et les amorphes sont abondants, le taux de résidu ATT approchant 25 %. T et surtout T/A sont très élevées. Le pH approche de la neutralité. Le contact direct des galets, à peine météorisés, s'exprime par la richesse en bases (S supérieure à 10 mé — V supérieur à 50 % avec m négligeable).

**Approche taxonomique.** Il s'agit de sols ferrallitiques assez fortement désaturés : *haplorthox* (modaux), *oxic* puis *typic dystropepts*. Les profils dits squelettiques sont déjà dégradés minéralogiquement ; ils sont donc

« rajeunis » plutôt que « initiaux ». Les profils semi-profonds présentent des caractères pénévulés. On dénote aussi des caractères andiques bien que le test FNa ne soit pas significatif en présence de gibbsite.

**Fertilité.** Les profils modaux sont très profonds, acides, désaturés, toxiques. Les profils squelettiques sont trop pierreux mais les profils semi-profonds présentent un ensemble de traits et paramètres qui en font les meilleurs sols de l'Amazonie équatorienne, propices à toutes les cultures sous réserve d'adaptation au climat. Ils sont aussi très bien pourvus en phosphore tandis que les profils modaux accusent une forte chute des taux et une élévation du pouvoir fixateur.

**Utilisation.** Les conglomérats à galets andésitiques sont, ici, les matériaux qui prêtent le mieux à l'expression du processus ferrallitique. Ils supportent des sols bruns de fertilité très différente selon leur profondeur. La prospection exploratoire n'a pas permis de fixer plus exactement la localisation et la proportion de bons et mauvais profils. D'éventuels caractères de fertilité ne dispensent pas de les exploiter avec précautions. Certaines zones ont déjà été dégradées par la pratique de l'élevage qui dénature les profils à force de piétinement.

**09c. Les sols bruns halloysitiques-andiques (« bruns A » du second piémont : plaines, terrasses et cordons sableux**

(réf. P34, P42)

(ferrallitiques à caractères andiques et eutriques)

**Environnement et morphologie.** Cette couverture s'étend en terrains plats et bien drainés sous forêt dense. Elle correspond aux derniers gradins du second piémont, formés non plus d'épaisses couches de galets mais de fines strates de sables et limons, d'origine volcanique également. La répartition de ces strates dans l'espace est infiniment complexe.

En chaque point, on peut diagnostiquer une superposition de strates ou une fossilisation de profils aussi bien qu'une succession d'horizons, la texture de chaque niveau, son degré d'évolution et la qualité de son drainage étant autant de facteurs d'hétérogénéité. L'unité pédogénétique ne s'affirme que lorsque les strates sont de textures similaires ou lorsqu'une strate prédomine.

Ainsi, en dehors de zones exclusivement sableuses et qui sont généralement hydromorphes, COLMET DAAGE (1975) avait identifié des sols sableux allophaniques (*vitrandepts*), des sols limoneux allophaniques (*dystrandepts*), des sols argileux halloysitiques (*dystropepts*) et des sols de transition. On peut en fait observer dans un seul et même profil divers horizons (ou strates) correspondant à ces déterminations.

Les horizons superficiels sont très humifères (sols « noirs » des colons). Les autres, pour ne parler que

des plus consistants, ceux dont les caractères sont les plus stables et les plus significatifs, sont bruns, homogènes, friables, plus ou moins thixotropiques et sensibles au test FNa. On observe jusqu'à 60 % d'argile néoformée à partir des dépôts limoneux.

**Constitution et comportement.** Les valeurs de Ki se situent entre 2,10 et 1,45. L'halloysite domine, toujours accompagnée d'un peu de cristobalite et, le plus souvent, de quantités importantes de gibbsite. T est toujours supérieure à 20 mé ; T/A supérieure à 50 mé, ce qui dénote la présence de phyllite 2/1 et d'allophanes qui auront échappé à l'analyse exploratoire — ceci en accord avec le caractère thixotropique et la réaction au FNa.

Les pH sont relativement élevés (5.4/5.7). S se situe entre 1 et 10 mé seulement en raison des taux de sables ; V entre 15 et 50 %. Le taux d'aluminium échangeable est négligeable.

**Fertilité.** Ces sols sont, globalement, profonds, meubles et riches en nutriments, notamment en phosphore (plus de 2000 et 100 ppm de Pt et Pa respectivement), en situations planes et bien drainées mais ils sont fragiles, sensibles notamment à la mécanisation et au compactage. Les paysages correspondant offrent un potentiel agronomique exceptionnel.

**Cas particulier.** Terrasses et cordons sableux. On peut considérer les hautes levées de berge du rio Napo et les cordons sableux du bassin du rio Cuyabeno comme les ultimes prolongements des formations de piémont. On y trouve des sols bruns analogues, mais de textures argilo-sableuses plutôt que limoneuses, et moins évolués. Les valeurs de Ki sont comprises entre 2,30 et 2,15 ; ils contiennent des quantités plus notables d'ilite et de vermiculite ainsi que d'allophanes. Leur pH est relativement élevé (5.1/5.5). La saturation dépasse 50 %. Cependant le phosphore total et surtout le phosphore assimilable sont un peu moins abondants que dans les sols des plaines. Ces sols sont très fertiles mais dispersés en superficies restreintes.

**10. Rankers, sols organiques et podzoliques de montage**

(réf. P13, P22).

Les plus hautes et les plus larges tables et cuestas gréseuses qui couronnent les cordillères du haut-Santiago étaient naguère innaccessibles mais la présence d'accumulations d'humus grossier, mêlées à des blocs de quartzites imprégnés de solutions humo-ferrugineuses, dans les éboulis des corniches, laisse présumer que leurs sommets sont couverts de rankers, de sols organiques et podzoliques.

Une association semblable devrait exister sur grès et schistes au voisinage des crêtes métamorphiques du

paysage glaciaire andin, très arrosées et nébuleuses également.

Ces sols podzoliques ne devraient pas être confondus avec les podzols profonds qui se développent sur les sédiments meubles de l'Amazonie centrale, au Pérou et au Brésil notamment. Il n'y en a pas de semblables en Equateur.

## COMPARAISON GRAPHIQUE DE QUELQUES PARAMÈTRES CARACTÉRISTIQUES

La comparaison graphique montre, mieux qu'un énoncé discursif de chiffres, combien les sols que nous avons identifiés diffèrent, et combien leur exploitation doit être sélectivement adaptée à leur potentiels de fertilité respectif.

Les diagrammes ci-joint représentent les limites de variations de quelques paramètres significatifs des 9 catégories de sols, sous formes de segments ou de nuages de points représentatifs.

### Degré d'évolution ferrallitique (fig.2)

Si l'on admet que  $K_i$  est un indice de l'intensité du processus de ferrallitisation dont les andosols allitiques représenteraient un cas particulier, la figure 2 montre combien il affecte différemment les sols de l'Amazonie équatorienne, les valeurs obtenues étant incluses dans les segments du diagramme. Le seuil théorique de la ferrallitisation est de 2,00 ; on admet pratiquement le seuil de 2,20.

Les sols « gris » et « bleus » ne sont pas affectés par ce processus. Les sols « jaunes », « jaunes/rouges », « bruns » et « beiges » (1) le sont nettement. Les couvertures « rouges » et « roses » ne le sont que faiblement et sporadiquement.

### Acidité et taux d'aluminium échangeable (fig.3)

Les valeurs de pH et l'indice de KAMPRATH (m) varient corrélativement. La figure 3 montre l'opposition entre les sols « gris » et « bleus » d'une part, modérément acides et non-aluminotoxiques, et les sols « rouges », « jaunes » et « jaunes/rouges » qui le sont extrêmement.

Les sols « beiges » sont modérément acides mais leur toxicité aluminique est variable, dans des conditions non-élucidées. Quant aux sols « bruns », leur acidité et leur aluminotoxicité sont négligeables (« bruns A » et autres profils squelettiques), fortes (profils « bruns H » pénévulés) ou très fortes (« bruns K » et H modaux).

### Capacité d'échange, teneur en cations et saturation (fig.4)

Au plancher de la figure 4 figurent les sols « rouges »,

« roses », « jaunes », « jaunes/rouges » et « beiges ». Les nuages correspondants sont écrasés par des valeurs de S inférieures à 3 ou 2, voire 1 mé. Les valeurs de T par contre sont variables et notamment élevées dans le cas des sols « beiges ».

La forme en poire du nuage de sols « bruns » reflète l'étalement des valeurs de S et T, très basses dans les profils modaux, moyennes ou élevées dans les profils pénévulés ou squelettiques. Les sols « gris » et « bleus » présentent de très fortes saturations. Si les valeurs de S et T sont parfois faibles, c'est qu'il existe des profils sableux.

Pour chaque couverture, les horizons humifères occuperaient une position graphique plus favorable. Elle n'a été représentée que pour les sols « beiges » dont elle est une caractéristique notoire (4A).

Ce diagramme entre autres dicte l'usage très sélectif qu'il convient d'assigner aux divers sols.

### Phosphore total et assimilable (fig.5)

La figure 5, en coordonnées logarithmiques, sépare grosso modo 3 groupes de valeurs, aux seuils de 1000 ppm de Pt et 70 ppm de Pa.

Valeurs très faibles ou moyennes (d'après BOYER, 1982) : sols « jaunes », « jaunes/rouges », « rouges » et les profils « bruns » modaux. Valeurs fortes : sols « beiges » et profils « bruns » squelettiques ou pénévulés. Valeurs moyennes : sols « gris » et « bleus ».

L'origine volcanique des matériaux et l'évolution ferrallitique exercent donc sur les teneurs en phosphore et sa disponibilité des influences opposées.

### Texture et nature des particules (fig.6 et 7)

La figure 6 fait apparaître que les sols « beiges » (sous réserve des aléas de leur dispersion) sont caractérisés par l'abondance de sables et l'absence d'argiles. L'abondance des limons caractérise les sols « gris » et « bleus ». La prédominance des argiles caractérise les sols « rouges » et « bruns » modaux. Des textures argilo-sableuses ne sont observées que dans le cas de sols « rouges » sur grès (non figurés).

La figure 7 montre que l'origine sédimentaire des sols « rouges » se traduit par des quantités variables mais parfois élevées du résidu de l'analyse totale triacide (ATT), présumé quartzueux, tandis que l'origine volcanique des sols « bruns » se traduit par des taux extrêmement restreints de ces résidus. Elle fait apparaître aussi les teneurs en oxydes : inférieurs à 20 % dans les sols « rouges » : supérieurs à 15 % et jusqu'à 55 % dans les sols « bruns ».

(1) Sauf les *dystrepts*.

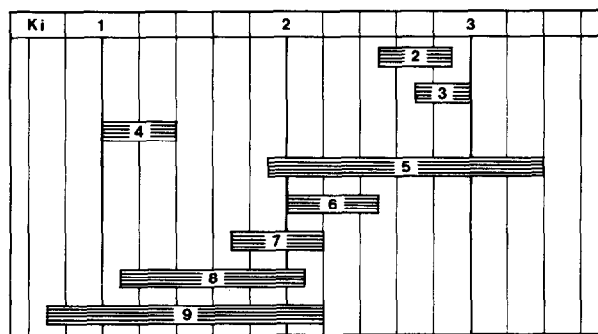


FIG. 2 — Représentation schématique des fourchettes de valeurs du rapport  $K_i$  ( $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ ) par catégories de sols.

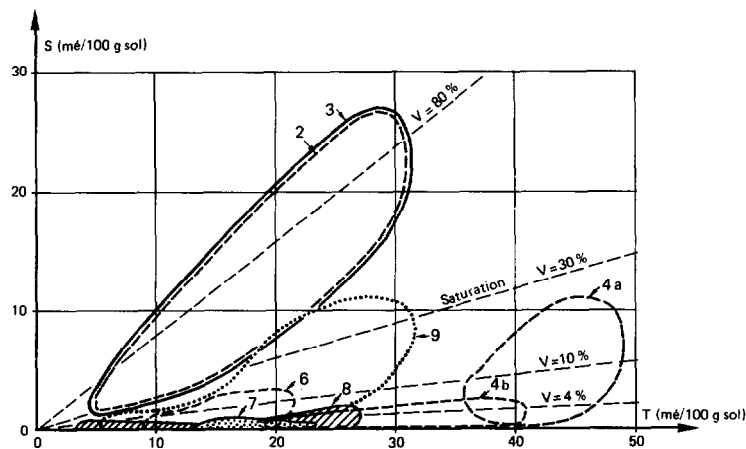


FIG. 4 — Représentation schématique des fourchettes de valeurs de S (somme des bases échangeables), T (capacité d'échange) et V (taux de saturation), par catégories de sols (4A = horizons superficiels — 4B = horizons profonds)

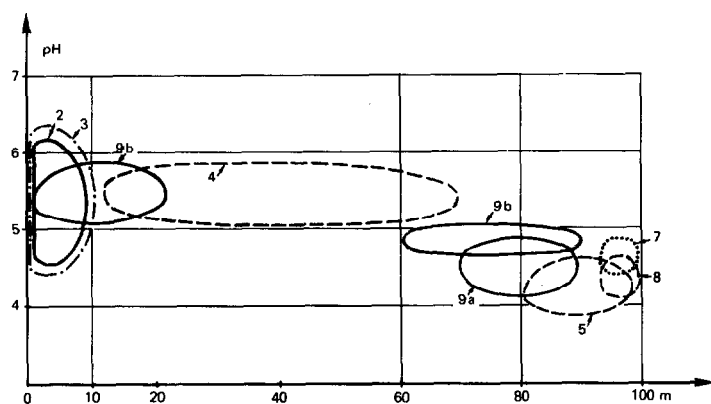


FIG. 3 — Représentation schématique des fourchettes de valeurs du pH et du taux d'aluminium échangeable (m) par catégories de sols.

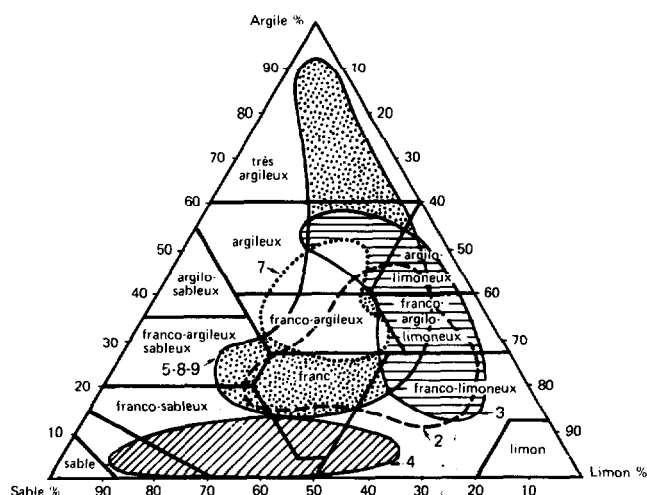


FIG. 6 — Représentation schématique des textures par catégories de sols, dans le triangle textural utilisé en Equateur.

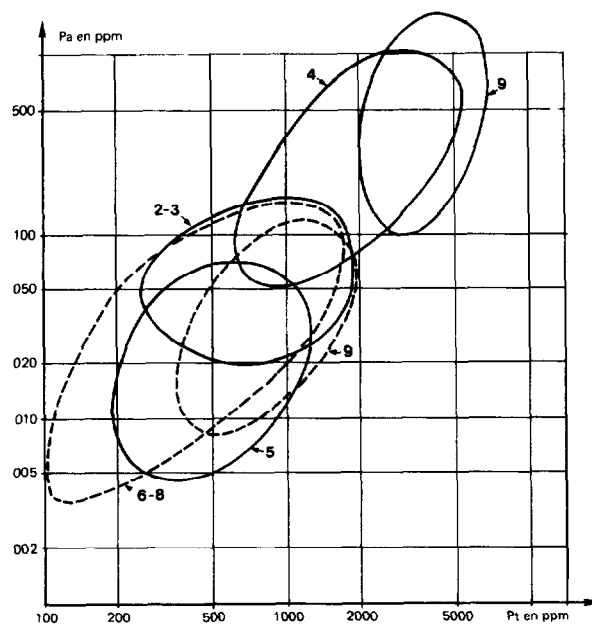


FIG. 5 — Représentation schématique des fourchettes de valeurs des taux de phosphore total (Pt et assimilable (Pa) par catégories de sols (coordonnées logarithmiques)

- 2 sols gris des vallées
- 3 sols bleus des marécages
- 4 sols beiges sur cendres
- 5 sols rouges des collines
- 6 sols roses des vallées
- 7 sols jaunes du couloir de Limon
- 8 sols jaunes/rouges du sud
- 9a sols bruns K des piémonts
- 9b sols bruns H des piémonts
- 9c sols bruns A des piémonts



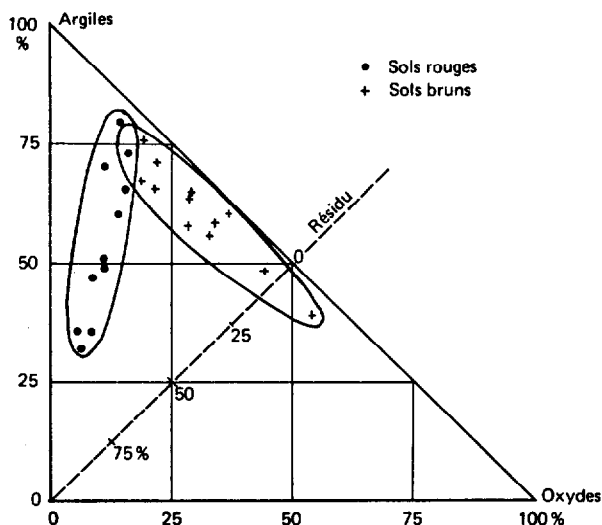


FIG. 7 — Représentation schématisée des teneurs en argiles kaoliniques, en résidu insoluble et en oxydes d'après les résultats de l'analyse totale triacide, pour les sols « rouges » et « bruns »

## COMMENTAIRES ET CONCLUSIONS

### Antécédents cartographiques et taxonomiques

Naguère, pour de très nombreuses raisons, la reconnaissance de l'Amazonie équatorienne n'a pu être que très sommairement ébauchée, en marge de travaux plus précis et complets consacrés aux autres régions du pays, mieux développées et d'accès moins problématique.

Ainsi, les esquisses pédologiques proposées par MILLER et COLEMAN (1952) puis par FREI (1957) à des échelles voisines du 1/3 500 000 tronquent de moitié le territoire oriental de l'Equateur. Ces auteurs ont emprunté les mêmes itinéraires, les seuls praticables sans doute, passant par les mêmes zones, couvertes de cendres, des versants et des piémonts andins. Ils ont délimité avec plus ou moins d'approximation la même séquence qui privilégie certains sols (sur cendres) et ignore l'existence de certains autres.

Les auteurs de la carte FAO (1974), dont FREI lui-même, ont tenté d'ajuster les données disparates dont ils disposaient à celles qui concernaient les pays voisins, à une nomenclature universelle et à l'échelle du 1/5 000 000<sup>e</sup>. Il en est résulté pour le territoire équatorien des transpositions et des distorsions déconcertantes.

A chaque étape, concepts et langages varient.

Au sols « noirs/beiges » et « beiges » (andosols sur

cendres) de notre carte correspondaient les « black paramo soils », « soft humic forest soils » et « grayish brown lixivium soils » de MILLER et COLEMAN ; les « suelos negros andinos », « suelos negros de transición laterítica » et « latosoles hidrolíticos » de FREI ; les « cambisols humiques » ou « andosols ochriques » associés à des « ferralsols humiques » et « nitosols eutriques » de la FAO.

Aux sols « rouges » et « jaunes/rouges » (ferralsitiques et ferrallitiques perdystriques) correspondaient les « red and yellow lixivium soils » (M&C), les « latosoles amarillo-rojizos » (F) et « ferralsols orthiques ou xanthiques » (FAO), apparentés aux « latosols » et « red-yellow podzolic soils » décrits au Brésil par SOM-BROEK (1966).

Les sols « bruns » et « jaunes » n'avaient pas été observés puisque les grands espaces interfluviaux des *mesas*, plateaux et plaines ainsi que le couloir de Limon n'avaient pas été atteints. Il devait revenir à COLMET-DAAGE (1975) de découvrir certains sols « bruns » de la province du Napo.

MILLER et COLEMAN n'ont pas moins fait preuve d'une grande perspicacité en notant, de prime abord, deux des caractéristiques les plus importantes de certains sols de haute Amazonie, notamment des sols « rouges ». Ils signalent en effet (1) des taux considérables d'aluminium échangeable, de l'ordre de 5 mé/100 g, et les problèmes de fertilité qui ne devraient pas manquer selon eux d'en résulter. Ils relèvent aussi qu'il leur a été très malaisé, sur le terrain, de prévoir quels sols contiendraient des phyllites 2/1. Une différence aussi fondamentale est à leurs yeux une forme de « l'intrazonalité » de ces sols.

### Les grandes orientations de la pédogenèse

L'inventaire a montré que la ferrallitisation des grands interfluviaux de l'Amazonie équatorienne n'était ni aussi intense ni aussi généralisée que la nature du climat régional le laissait présumer.

L'efficacité pédogénétique de ce climat ne peut cependant pas être mise en cause. Les données météorologiques étant ce qu'elles sont, cette efficacité ne pourrait être insuffisante que dans les cas particuliers de la haute montagne (plus fraîche) et de l'extrême-sud (moins arrosé avec plus de contrastes saisonniers).

Or, les sols « beiges » des versants du nord et du centre sont fortement allitisés, au moins jusqu'à 2000 m bien que le matériau cendreux soit jeune, tandis que sur les roches métamorphiques du sud, les sols « noirs/jaune/rouge » qui subsistent jusque près de

(1) A propos des « black paramo », « soft humic forest » et « red-yellow lixivium soils ».

3000 m le sont également. Plus haut encore, à 3300 m, on observe des altérations granitiques fossilisées par des moraines.

Dans l'extrême-sud, les apparences d'une forte ferrallitisation subsistent aussi, sous réserve d'analyses en cours, au moins sur le pourtour du bassin du rio Chinchipe. On peut donc maintenir que les conditions climatiques de la ferrallitisation sont — ou ont été — satisfaites jusqu'à la limite et même au-delà de paysages glaciaires et que les cas d'inhibition de ce processus sont imputables à la nature des matériaux originels ainsi qu'aux péripéties de leur évolution.

Dans le cas des sols « beiges », on observe la météorisation totale du matériau originel, la lixivation profonde des profils et une intense allitisation. S'il est convenu d'identifier des andosols plutôt que des sols ferrallitiques, c'est en raison de leur richesse en allophanes qui traduit l'influence du matériau cendreuse.

Dans le cas des couvertures « rouge » et « jaune », leur constitution partiellement bisiallitique résulte peut-être pour une part d'un rajeunissement partiel ancien (les rouges) ou permanent (les jaunes). Elle résulte aussi sans doute du fait que leurs roches-mères sont trop finement litées et trop exclusivement constituées de phyllites gonflantes pour qu'un régime de percolation efficace puisse s'établir à la suite de leur météorisation.

On remarque que les strates de ces sédiments sont altérées inégalement mais jusqu'à de grandes profondeurs tandis que les horizons A et B des sols sont relativement minces et peu différenciés. Les cations ont été éliminés et les profils sont peracides alors même que la silice subsiste et qu'ils sont bisiallitiques. Ces contrastes sont peut-être corrélatifs. Il est plausible que la lixiviation des altérites ait été très poussée au terme d'une phase pédogénétique ancienne et se maintienne tandis que leur transformation minéralogique aurait été remise en cause par suite d'une ou plusieurs troncatures.

Les profils modaux de sols « bruns » témoignent par contre des degrés intenses auxquels atteint la ferrallitisation lorsqu'elle affecte des matériaux volcaniques divisés et bien drainés. (Les profils, pénévulés, squelettiques et, à la limite, fersiallitiques, correspondent à divers stades d'une évolution régressive, par rajeunissement érosif du terme modal). Les sols « bruns A » conservent des traits andiques mais sont néanmoins déjà ferrallitiques.

Par rapport à d'autres régions amazoniennes, celle-ci se distingue par l'absence de podzols profonds et de sols rouges ou jaunes sableux tels que les « latosolic sands » du Brésil.

Par rapport à d'autres régions tropicales humides, outre l'absence de concrétions, d'indurations et de nappes de gravats, l'Amazonie équatorienne se singularise comme l'avaient noté MILLER et COLEMAN par l'exten-

sion de couverture dont les degrés d'approfondissement, de dégradation minéralogique et d'organisation texturo-structurale relatifs aux horizons supérieurs sont remarquablement divers, en contraste avec des degrés intenses d'acidité, de désaturation et d'aluminotoxicité ; ce qui rend leur exploitation agricole très problématique.

### La dégradation des sols et des paysages par l'élevage

Le climat, les sols et la pratique du pâturage direct étant ce qu'ils sont en Amazonie, l'élevage tend à la dénaturation des sols et des paysages. En effet, le piétinement du gros bétail pétrit à tel point les horizons superficiels que toutes leurs structures sont effacées et qu'un pseudo-gley s'y développe. Disons plus simplement qu'il se forme un cloaque indescriptible. La fertilité en est fortement affectée, irréversiblement parfois car, après abandon du pâturage, la forêt ne revient plus sinon sous des formes excessivement dégradées. L'alternance pâturage-jachère est illusoire. Chaque parcelle stérilisée étant remplacée par de nouveaux défrichements, la dégradation des paysages s'en suit implacablement.

C'est ce que nous avons observé maintes fois et en maints endroits, au Pérou comme en Equateur. Un usage inadéquat des sols peut donc, en quelques années, surimposer des traits majeurs à une morphologie millénaire et en modifier radicalement les propriétés. Si cela n'a pas attiré l'attention en Afrique, peut-être est-ce parce que la mouche Tse-Tse interdit l'élevage dans les zones de climat comparable.

La « vocation pastorale » de l'Amazonie doit être considérée comme un dangereux mirage qui ne repose que sur des illusions techniques. Propagé par les colons, ce mythe gagne les indigènes. Ses effets pervers s'étendent pourtant jusqu'au domaine ethno-culturel comme l'a démontré DESCOLA (1982).

### Les ressources en sols entre la conservation et l'exploitation

On considérerait naguère avec optimisme les perspectives offertes par le défrichement de l'Amazonie et l'exploitation de ces sols aux fins de productions agricoles, notamment les perspectives pastorales (FREI, 1957 — FAO, 1974). L'expérience des dernières décades invite à plus de circonspection.

Ces perspectives doivent être pondérées par diverses contraintes. Les unes propres aux sols (leurs teneurs en nutriments, leurs capacités de fonctionnement biophysique et de résistance aux agressions météoriques ou mécaniques). D'autres sont liées aux paysages (climats, pentes et accidents, drainage et crues). D'autres encore résultent de l'inégale aptitude des hommes et des sociétés à concevoir et mettre en œuvre des stratégies d'exploitation adéquates.

Dans l'Amazonie équatorienne, les surfaces exemptes de toutes contraintes physiques sont rares. Elles correspondent à certaines parties des plateaux et plaines du second piémont, là où les sols « bruns » présentent le degré d'approfondissement et d'évolution le plus favorable.

Ailleurs, il faut affronter des contraintes variées ou multiples, jusqu'à un cumul redhibitoire lorsqu'il s'agit par exemple de sols excessivement pauvre et fragiles, situés sur des pentes fortes et instables et soumis à des climats exagérément arrosés et nébuleux. L'extension des défrichements à de telles zones n'est malheureusement pas un cas caricatural.

La gestion des milieux forestiers tropicaux est toujours problématique (MOREAU et GODEFROY, 1985) et c'est notamment le cas pour l'Amazonie équatorienne (SOURDAT et CUSTODE, 1980 — SOURDAT, 1982). Elle se joue entre l'exploitation et la conservation. Pour comparer ce que l'exploitation sacrifie (le capital forestier et sa fonction écologique) avec ce qu'elle offre (la disponibilité du sol et les alternatives de productions) il manque à l'inventaire des sols d'avoir été inscrit dans le cadre d'un bilan global.

La luxuriance de la forêt amazonienne s'accommode de sols dont la fertilité est souvent illusoire hors de l'écosystème forestier. Des entreprises inconsidérées qui méconnaissent ce fait occasionnent des dévastations parfois irréversibles (IRION, 1978). Même lorsqu'elles s'appuient sur les données objectives des analyses physico-chimiques, les évaluations de la fertilité des sols n'ont de sens que par rapport à tel ou tel écosystème ou agrosystème.

Diverses voies sont offertes à l'exploitation. La voie extensive, de loin la plus pratiquée, dévore l'espace (CEPEDE, 1985) et menace les équilibres écologiques (FRIEDMAN, 1977) d'autant plus qu'elle débouche sur l'extension des pâturages.

Une voie semi-intensive, fondée sur le recyclage des éléments d'un système polyculturel stratifié, a été préconisée par divers organismes latino-américains et se recommande du modèle indigène. Sa vulgarisation cependant marque le pas (INCRAE, 1978-interventions de BISCHOP, DUBOIS et PRENTICE).

La voie intensive n'a été empruntée en Equateur que dans le cadre de plantations industrielles de palmier à huile et en deux endroits choisis parmi les meilleurs. Elle semble devoir donner de très bons résultats. L'hostilité qu'on oppose au caractère capitaliste des structures de production ne disqualifie pas la méthode (ELIES et METTETAL, 1986). L'expérimentation conduite au Pérou par SANCHEZ (1982) tend à prouver que la voie intensive est accessible au paysannat. Il reste à le vérifier au niveau de la vulgarisation.

Faut-il rappeler que la culture intensive permet, seule, les hauts rendements nécessaire à l'autosuffisance des populations et, bien plus, qu'elle seule assure la conservation et l'amélioration de l'environnement parce qu'elle concentre les transformations dans les zones qui y sont propres et réserve ainsi les « sanctuaires » de la diversité du monde vivant (CEPEDE, 1985).

## REMERCIEMENTS

Monsieur P. SEGALIN nous accompagnait sur le terrain en 1976 lors de l'une de nos premières prospections. Il a bien voulu suivre de près la rédaction de cet article et nous aider de ses conseils. Monsieur PELLOUX a coordonné l'exécution des travaux de laboratoire. Nous les remercions très sincèrement.

*Manuscrit accepté par le Comité de Rédaction le 5 février 1987*

## BIBLIOGRAPHIE

- ALMEIDA (G.) y SOURDAT (M.), 1983. — Genesis geológica y morfológica de la Amazonia y sus implicaciones actuales. In CEDIG, *doc. de investig.* n° 3 : 15-24, Quito, I.P.G.H. y ORSTOM.
- ATLAS DEL MUNDO : Ecuador, 1982. — Paris, Ed. J.A., Quito, Banco Central.
- BALDOCK (J.W.), 1982. — Geologia del Ecuador. Boletín de la explicación del Mapa Geológico de la República del Ecuador, escala 1 : 1 000 000. Quito, D.G.G.M., Londres, I.G.S., 66 p.

- BOYER (J.), 1982. — Les sols ferrallitiques (tome X). Facteurs de fertilité et utilisation des sols. *Mém. ORSTOM* n° 52, Paris.
- CEPEDE (M.), 1985. — Utilisation des terres et alimentation des populations dans le tiers monde. Introduction. *C.R. Acad. Agr. de France*, 71 n° 10 : 1135-1140.
- COLMET-DAAGE (F.) y *al.*, 1975. — Características y propiedades de algunos suelos del Oeste de la Amazonia ecuatoriana. Quito, MAG-ORSTOM, 10 p. *multigr.*, fig.(2) cart. h.t. dont 1 repl., tabl.

- DE NONI (G.) y GUEVARA (O.), 1979. — Mapa pedo-morfológico de la provincia de Pastaza. Quito, MAG-ORSTOM, 1 hoja color escala 1 : 500 000.
- DESCOLA (P.), 1982. — Ethnicité et développement économique : le cas de la Fédération des Centres Shuar. In *Indianité, Ethnocide, Indigénisme en Amérique latine*. Paris, Ed. C.N.R.S. : 221-237.
- Dirección Nacional de Geología y Minas (D.N.G.M.), 1982. — Mapa geológico nacional de la República del Ecuador, Escala 1 : 1 000 000. 1 hoja color. Quito, D.N.G.M. Londres, I.G.S.
- ELIES (G.) et METTETAL (G.), 1986. — La colonisation agricole en Amazonie équatorienne : le cas de la province du Napo. Mém. D.D.A., E.N.S.A. Montpellier, *multigr.*
- FAC-UNESCO, 1974. — Soil map of the world. 1 : 5 000 000. Paris.
- FREI (E.), 1957. — Informe al Gobierno del Ecuador sobre reconocimientos edafológicos exploratorios. FAO Roma, informe n° 585, ECU/AgL, *multigr.* 35 p., 4 cartes.
- FRIEDMAN (I.), 1977. — The Amazon basin, another Sahel ? *Science* (Washington D.C.) 177 : 7.
- Instituto Nacional de Colonización de la Región Amazonica Ecuatoriana (INCRAE), 1978. — Seminario sobre manejo de sistemas ecológicos y alternativas de producción agro-silvo-pastoril. Pub. n° 004, Quito.
- IRION (G.), 1978. — Soil infertility in the Amazonian Rain Forest. *Naturwissenschaften* 65, 515-519.
- MILLER (E.V.) and COLEMAN (N.T.), 1952. — Colloidal properties of soils from western South America. *Soil Sci. Soc. Proced.* : 239-244.
- MOREAU (R.) et GODEFROY (J.), 1985. — Problèmes des zones tropicales et équatoriales forestières. *C.R. Acad. Agr. de France*, 71, n° 10 : 1169-1179.
- SANCHEZ (P.A.), BANDY (D.E.), VILLACHICA (J.H.), NICOLAISES (J.J.), 1982. — Amazon basin soils : management for continuous crop production. *Science*, vol. 216 : 821-827.
- SEGALEN (P.), 1966. — Le processus de ferrallitisation et ses limites. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, vol. IV, n° 4 : 15-20.
- Soil Management Support Service (S.M.S.S.), 1983. — Keys to soil taxonomy. Monogr. n° 6, U.S.D.A., A.I.D., Washington.
- SOMBROEK (W.G.), 1966. — Amazon soils. Wageningen.
- SOURDAT (M.), 1982. — La haute Amazonie équatorienne. Etude morpho-pédologique. Perspectives d'aménagement. C.R. Journées pédologiques de Sept. 1981. Paris, ORSTOM : 109-129.
- SOURDAT (M.), CUSTODE (E.), BARRAL (H.), MUNOZ (A.), 1977. — Reconocimiento morfo-edafológico y distribución de la población. In *Atlas Geográfico de la Rep. del Ecuador*, 1 hoja color 1 : 750 000 Quito I.G.M.
- SOURDAT (M.), y CUSTODE (E.), 1977. — Reconocimiento morfográfico y edafológico de la Amazonia ecuatoriana, zona nor-oriental. Quito : MAG-ORSTOM, 1 hoja : 1 : 500 000, 15 p., *multigr.*
- SOURDAT (M.), y CUSTODE (E.), 1978. — Suelos del Nororiente. Características físico-químicas y su fertilidad. Quito, MAG-ORSTOM *multigr.* 28 h. con carta 1 : 500 000.
- SOURDAT (M.) y CUSTODE (E.), 1980. — Provincia de Morona-Santiago parte norte. Carta pedo-geomorfológica e informe provisional. Quito MAG-ORSTOM, *multigr.* 12 p. Escala 1 : 500 000.
- SOURDAT (M.) y CUSTODE (E.), 1980. — Problemática del manejo integral y estudio morfo-pedológico de la región amazónica ecuatoriana. Quito MAG-ORSTOM, *multigr.* 17 p.
- SOURDAT (M.) y CUSTODE (E.), 1982. — Provincias del Napo y del Pastaza. Mapa morfo-edafológico 1 : 250 000, 2 hojas con memoria técnica. Quito, MAG-ORSTOM *multigr.* 21 + 22 p.
- SOURDAT (M.) y CUSTODE (E.), 1982. — Provincias de Morona-Santiago zona sur y de Zamora-Chinchipe. Mapa morfo-edafológico 1 : 500 000 con memoria técnica. Quito, MAG-ORGAOM, *multigr.* 15 p.
- SOURDAT (M.) y CUSTODE (E.), 1983. — Provincias del Napo, del Pastaza, de Morona-Santiago zona norte, de Morona-Santiago zona sur y de Zamora-Chinchipe. Cartes morpho-pédologiques à 1 : 500 000. 4 feuilles couleur. Quito, MAG-ORSTOM et I.G.M.
- SOURDAT (M.) y CUSTODE (E.), 1986. — Paysages et sols de l'Amazonie équatorienne entre la conservation et l'exploitation. 10 pp. et 1 Carte 1/3 000 000 noir/blanc. *Multigr.* Publ. en cours : Actes du Coloquio Ecuador 1986, Quito, Banco central, et ORSTOM, Paris.
- TRICART (J.), 1974. — Existence de périodes sèches au quaternaire en Amazonie et dans les régions voisines. In *Rev. Geomorphol. Dynam.* XXIII, n° 4 : 145-158.
- TRICART (J.), 1975. — Influence des oscillations climatiques récentes sur le modelé en Amazonie Orientale (région de Santarem) d'après les images radar latéral. *Z. für Geomorph.*, 19 : 140-163.
- TRICART (J.), 1978. — Ecologie et développement : l'exemple amazonien. In *Ann. Geogr.* n° 481 : 257-291.